

Effet de la Variabilité Pluviométrique sur les Écoulements de Surface dans le Bassin Versant de l'Agnéby au Sud-Est de la Côte d'Ivoire

***Brahima Koné,
Amidou Dao,
Vamoryba Fadika,
Dabissi Noufé,
Bamory Kamagaté,***

Laboratoire Géosciences et Environnement,
Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Doi:10.19044/esj.2019.v15n27p383 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n27p383](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n27p383)

Résumé

La variabilité pluviométrique observée depuis les années 1970 s'est traduite par une succession d'années de sécheresse. Cela fait rage depuis trente ans en Afrique de l'Ouest en général, dans les pays sahéliens et dans les pays du golfe de Guinée. Elle en est résulté une diminution importante des précipitations et des débits des cours d'eau. Ainsi, cet article propose de prendre en compte la variabilité des précipitations sur les écoulements de surface du bassin versant d'Agnéby afin de mieux comprendre l'évolution du régime hydrologique. Pour atteindre cet objectif, les travaux ont été basés sur les données journalières des précipitations et des débits de 1955 à 2015. Une analyse des indices hydropluviométriques a été réalisée. Ces indices associent plusieurs méthodes complémentaires telles que les tests de détection de la rupture de la moyenne, la procédure de segmentation des séries temporelles hydrologiques, le coefficient de ruissellement et le coefficient de la moyenne hydroclimatique. Nos analyses révèlent des ruptures autour des années 1960 et 1980. Celles-ci entraînent des réponses hydrologiques avec des déficits de -54% et -36%. Cependant, on observe une reprise significative des débits moyens à partir de 1996, avec un excédent pluviométrique de + 7% qui a entraîné une réponse hydrologique de 149%. Cette dernière constatation marque l'entrée dans une nouvelle période climatique plus humide que celle des années 1960 et 1980 à l'échelle du bassin d'Agnéby. Ceci est confirmé par l'augmentation du coefficient moyen hydroclimatique jusqu'à 130% depuis la fin de la décennie 2010. Ainsi, les précipitations annuelles obtenues sont bien

comparables à celles de la période humide (1997-2015) avec des précipitations cumulatives variant entre 1280 mm et 1760 mm.

Mots-clés : Variabilité pluviométrique, Ecoulement, Bassin de l'Agnéby, Côte d'Ivoire

Effect of Rainfall Variability on Surface Runoff in the Agnéby Watershed in South-East Côte d'Ivoire

***Brahima Kone,
Amidou Dao,
Vamoryba Fadika,
Dabissi Noufe,
Bamory Kamagate,***

Laboratoire Géosciences et Environnement,
Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

The rainfall variability observed since the 1970s has resulted in a succession of years of drought. Generally, this has raged for thirty years in West Africa, in the Sahelian countries, and the countries along the Gulf of Guinea. It has resulted in severe decreases in rainfall and stream flows. This paper focuses on taking into account the rainfall variability on surface flows of the Agnéby watershed to better understand the evolution of the hydrological regime. To achieve this, the study was based on daily rainfall and flow data from 1955 to 2015. An analysis of the hydropluviometric indices has been performed. These indices associate several complementary methods such as the detection tests of the break in the average, the procedure for the segmentation of hydrological time series, the runoff coefficient, and the hydroclimatic average coefficient. The analysis reveal ruptures around 1960s and 1980s. These result in hydrological responses with deficits of -54% and -36%. A significant resumption of the average flows is observed from 1996, with a rainfall surplus of + 7%, which has resulted in a hydrological response of 149%. This latter finding points out the entry into a new, more humid climatic period than that of the 1960s and 1980s at the scale of the Agnéby basin. This is confirmed by the increase of the hydroclimatic average coefficient up to 130% since the end of the 2010 decade. The annual rainfall

obtained are also well comparable with those of the wet period (1997-2015) with a cumulative rainfall varying between 1280 mm and 1760 mm.

Keywords: Rainfall variability, Flow, Agnéby Basin, Côte d'Ivoire

Introduction

Depuis les années 1970, l'Afrique de l'Ouest a subi une des plus fortes variations pluviométriques observées à l'échelle du globe. Cette variabilité climatique a non seulement affecté le régime des précipitations, mais également les ressources hydrologiques (Agiuar, 2009).

Toutefois, la tendance aujourd'hui de cette variabilité pluviométrique est à la modération notamment dans les zones les plus anciennement marquées comme le Niger et le Burkina (Lebel & Ali, 2009). Cette baisse des précipitations a entraîné une chute importante des écoulements des grandes rivières. En effet, le fleuve Sénégal a perdu 60% de ses écoulements pour une baisse pluviométrique de 30% tandis que l'Ouémé au Bénin a perdu 40% de son écoulement pour un déficit des précipitations de 15-20% (Lebel & Vischel, 2005). En revanche, cette tendance à la baisse pluviométrique a été contrariée par les travaux de (Dao *et al.*, 2010) sur le bassin versant de Kolondieba au Sud du Mali en milieu soudanien. En effet, il a été constaté une reprise pluviométrique à partir de 1992 qui s'est matérialisée par un excès de +17%. La réponse hydrologique à ce regain a été une augmentation de 100% soit près de 6 fois l'excédent pluviométrique.

Les bassins des fleuves ivoiriens font partie des fleuves les plus touchés par la baisse des écoulements dans la région ouest africaine avec un déficit moyen de 47% observé au niveau des débits des cours d'eau (Kamagaté *et al.*, 2017). En ce qui concerne le bassin versant de l'Agnéby, en plus de la variabilité pluviométrique, est le siège d'une forte pression anthropique qui lui a valu une perte de plus de 2% de son couvert végétal entre 1990 et 2001 (Kouadio, 2011). Dans cette partie du pays située en milieu granitique de socle, l'eau de surface demeure la principale source d'adduction en eau potable de la ville d'Agboville (chef-lieu de région). Les eaux souterraines y sont logées dans les aquifères superficiels d'altérites peu potables et les aquifères de socle fissuré sous-jacents dont l'exploitation nécessite de gros moyens d'investitions.

Vue cette problématique dont les enjeux sont d'ordre divers: demande en eau de consommation et demande en eau pour les besoins agropastoraux, il apparaît donc nécessaire de comprendre le fonctionnement du régime hydropluviométrique du bassin. Ce travail a pour objectif de caractériser l'impact de la variabilité pluviométrique sur les débits dans le bassin de l'Agnéby. La méthodologie appliquée a porté sur le calcul des indices hydropluviométriques, les tests statistiques de ruptures, l'estimation des

périodes de retour autour de la rupture, du coefficient d'écoulement et le coefficient hydroclimatique moyen du bassin.

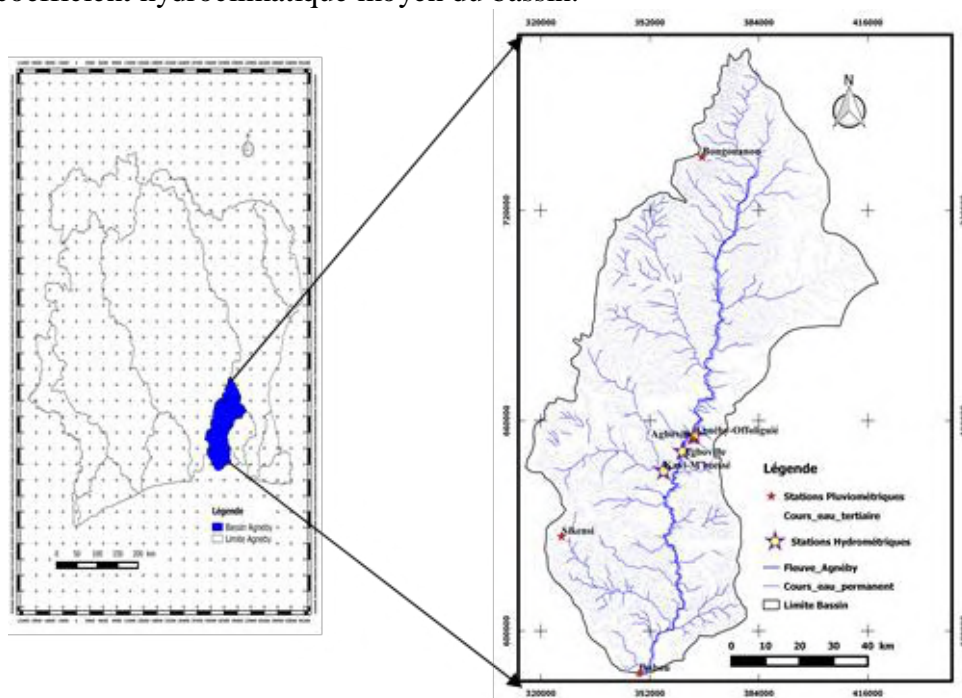


Figure 1. Localisation du bassin versant de l'Agnéby et réseau de mesure des données hydropluviométriques

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel, hfc

Situé entre les latitudes 320000 et 416000 N et les longitudes 600000 et 720000W, le bassin versant de l'Agnéby couvre une superficie d'environ 8640 km². Le climat du bassin est de type équatorial de transition atténué, avec un cumul pluviométrique de 1784 mm.an⁻¹. La végétation est principalement composée de forêt dense sempervirente. Le relief du bassin versant de l'Agnéby est caractérisé par les altitudes comprises entre 100 m et 300 m. La géologie du bassin repose sur des formations précambriennes : schistes arkosiques au Nord de Bongouanou et au Sud d'Agboville, mica-schistes et granites dans la partie centrale (Girard, 1963). Sa pédologie est divisée en deux types de sol : sols ferralitiques faiblement et fortement dénaturés rattachés au nord et au centre du bassin et le complexe de sol hydromorphe et peu évolué s'observe sur de petite superficie. Quatre stations pluviométriques et trois stations hydrométriques situées sur la zone d'étude ont été retenues pour leurs qualités de données (Figure1).

Les données sont issues de l'observation hydrométéorologique de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et

Météorologique (SODEXAM) et de la Direction Générale des Infrastructures de l'Hydraulique Humaine (DGIHH). Les données disponibles, ainsi que les lacunes éventuelles sont résumées dans les Tableaux 1 et 2. Les données manquantes ont été comblées par des données de stations situées dans la même zone climatique.

Tableau 1. Liste des stations pluviométriques étudiées

Observations	Stations			
	Bongouanou	Agboville	Sikensi	Dabou
	1947-2015	1923-2015	1976-2010	1952-2010
	(66 ans)	(89 ans)	(31 ans)	(48 ans)
Lacunes	4	6	1	3
Sans lacunes	62	83	30	45
% années complètes	94	93	97	94

Tableau 2. Listes des stations hydrométriques étudiées

Stations	Périodes observations	% années complètes	% lacunes
Agbo	1955-2012 (57 ans)	98	1
Kavi-M'bessé	1959-2012 (53 ans)	94	3
Offoliguié	1983-2012 (29 ans)	96	2

2.2. Méthodes

2.2.1 Caractérisation de la variabilité pluviométrique sur le bassin versant de (l'Agnéby)

2.2.1.1 Calculs des indices pluviométriques et hydrométriques

Les indices pluviométriques et hydrométriques permettent de dégager les grandes tendances dans les séries chronologiques. Ils sont calculés par la méthode des moyennes pondérée ou filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2.

On procède d'abord au filtrage des données pour éliminer les variations saisonnières en utilisant le filtre non récursif passe-bas de Hannig d'ordre 2 (moyennes mobiles pondérées), pour mieux visualiser les périodes de déficit et d'excédent à l'échelle interannuelle du bassin versant (Kouakou *et al.*, 2007).

2.2.1.2-Tests de détection des ruptures dans les séries chronologiques

Le test non paramétrique de Pettitt (1979), capable d'estimer la position d'un changement de moyenne ou point de rupture dans une série a été appliqué. Les paramètres utilisés pour ce test ont été : l'hypothèse alternative $\neq 0$, la rupture est considérée comme étant significative lorsque la probabilité associée est inférieure à 5% ($P < 0,05$) le nombre de simulation est 10000 et le temps maximum de simulation est 180 s (Addinsoft, 2016).

La procédure de segmentation de Hubert consiste à découper la série en un certain nombre de sous-séries ou segments, suivant la technique des moindres carrés, de telle sorte que les moyennes de deux segments contigus soient significativement différentes selon le principe de Scheffé (Dagnelie, 1970). Toute décomposition de la série initiale en un sous-séries est une

segmentation d'ordre m. Leurs applications sont effectués à l'aide du logiciel Khronostat 1.01 développé par HydroSciences Montpellier.

2.2.1.3-Déficit (-) (ou Excès (+)) pluviométrique et Hydrométrie

Le phénomène dominant sur l'ensemble de la série chronologique est enfin obtenu pour laquelle on enregistre le pourcentage le plus élevé. L'ampleur de la sécheresse peut également être évaluée à partir du calcul du déficit. Pour les variables hydroclimatiques dont la série chronologique présente une rupture, cette méthode précise le pourcentage de variation de la moyenne de la rupture (Dao, 2013). Ce déficit s'obtient par la Formule de l'équation 1:

$$D = \left(\left(\frac{\bar{x}_j}{\bar{x}_i} \right) - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

Où D est le déficit (-) (ou Excès(-)) pluviométrique après la rupture.

2.2.1.4-Estimation des périodes de retour des pluies autour des ruptures

Le logiciel HYFRAN 2.1 développé par l'institut Canadien (INRST-ETE) version du 13 Novembre 2014, est utilisé ici pour effectuer une analyse fréquentielle des cumuls pluviométriques portant sur chaque période de rupture qui sera identifiée. L'objectif est de déterminer une éventuelle variation de la période de retour autour d'une pluie P quelconque du fait de la rupture. Un ajustement statistique à partir de la loi de Gumbel est mieux adapté à la zone tropicale (Goula *et al.*, 2007), est préalablement réalisé afin de transformer les pluies en quantiles avant le calcul fréquentiel. L'avantage de ce calcul est d'apprécier l'impact de la variabilité climatique sur le choix des pluies (et débits) dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

2.2.1.5-Détermination de l'ampleur de la Sécheresse Gamme de valeurs SPI et Signification

Des gammes standard des valeurs des indices SPI permettent d'apprécier l'ampleur de la sécheresse (ou de l'humidité) pour chacune des années de la série chronologique (Wu *et al.*, 2005). A l'issue de cette opération, il est possible de déterminer le nombre d'années par gamme SPI et la signification correspondante en terme d'ampleur du phénomène climatique (Tableau 3) à partir de l'équation 2:

$$A_i = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times 100 \quad (2)$$

Où A_i le pourcentage des années concernées par la classe i (tableau), n_i est le nombre d'années de la classe i et N, le nombre total d'années sur la période d'étude.

Tableau 3. Différentes classes des indices SPI et leur signification

N° classe	Classe de SPI	Degré de la sécheresse
1	$SPI > 2$	Humidité extrême
2	$1 < SPI < 2$	Humidité forte
3	$0 < SPI < 1$	Humidité modérée
4	$-1 < SPI < 0$	Sécheresse modérée
5	$-2 < SPI < -1$	Sécheresse forte
6	$SPI < -2$	Sécheresse extrême

2.2.1.6-Coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement (Ce) permet de quantifier le rendement du bassin. C'est le rapport entre le volume d'eau écoulé à l'exutoire et le volume d'eau précipitée dans le bassin. Il se traduit par l'équation 3:

$$Ce = \frac{V_c}{P_c * S} \quad (3)$$

V_c = Volume d'eau cumulé (m^3),

P_c = Pluie cumulée (m),

S = Surface du bassin (m^2).

2.2.1.7-Coefficient hydrologique moyen (chm)

Pour évaluer les impacts de la variabilité pluviométrique sur les écoulements, nous avons eu recours au coefficient hydroclimatique moyen (chm). Pour cela, on détermine l'écart (E_c) pour la série débits. Il consiste à faire la différence entre débit moyen annuel (Q_{ma}) et débit moyen interannuel (Q_{mi}) et le rapport avec le débit moyen interannuel qui se traduit par l'expression de l'équation 4:

$$E_{ci} = \left(\frac{Q_{ma} - Q_{mi}}{Q_{mi}} \right) * 100 \quad (4)$$

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Variabilité pluviométrique sur le bassin de l'Agnéby

3.1.1.1 Indices Pluviométriques et Hydrométriques

L'analyse des données hydropluviométriques au niveau des stations de la zone d'étude fait apparaître trois grandes tendances dans les stations de Bongouanou et Agboville, et deux grandes tendances dans les stations de Sikensi et Dabou (Figure 2). Les stations de Bongouanou et Agboville enregistrent des indices positifs sur la période 1955 à 1968. Après cette période on observe des indices négatifs sur la période 1969 à 2007, ceci est caractéristique des pluies annuelles inférieures à la moyenne interannuelle du fait d'un régime déficitaire. A partir de la décennie 2010, on constate un retour de la période humide au niveau de ces deux stations.

Quant aux stations hydropluviométriques de Sikensi et Dabou, la période déficitaire s'observe de 1976-1986 à Sikensi et la période humide de 1952-1982 à Dabou. Après ces dates on observe un retour de la période humide à sikensi et la période déficitaire à Dabou sur le reste des séries.

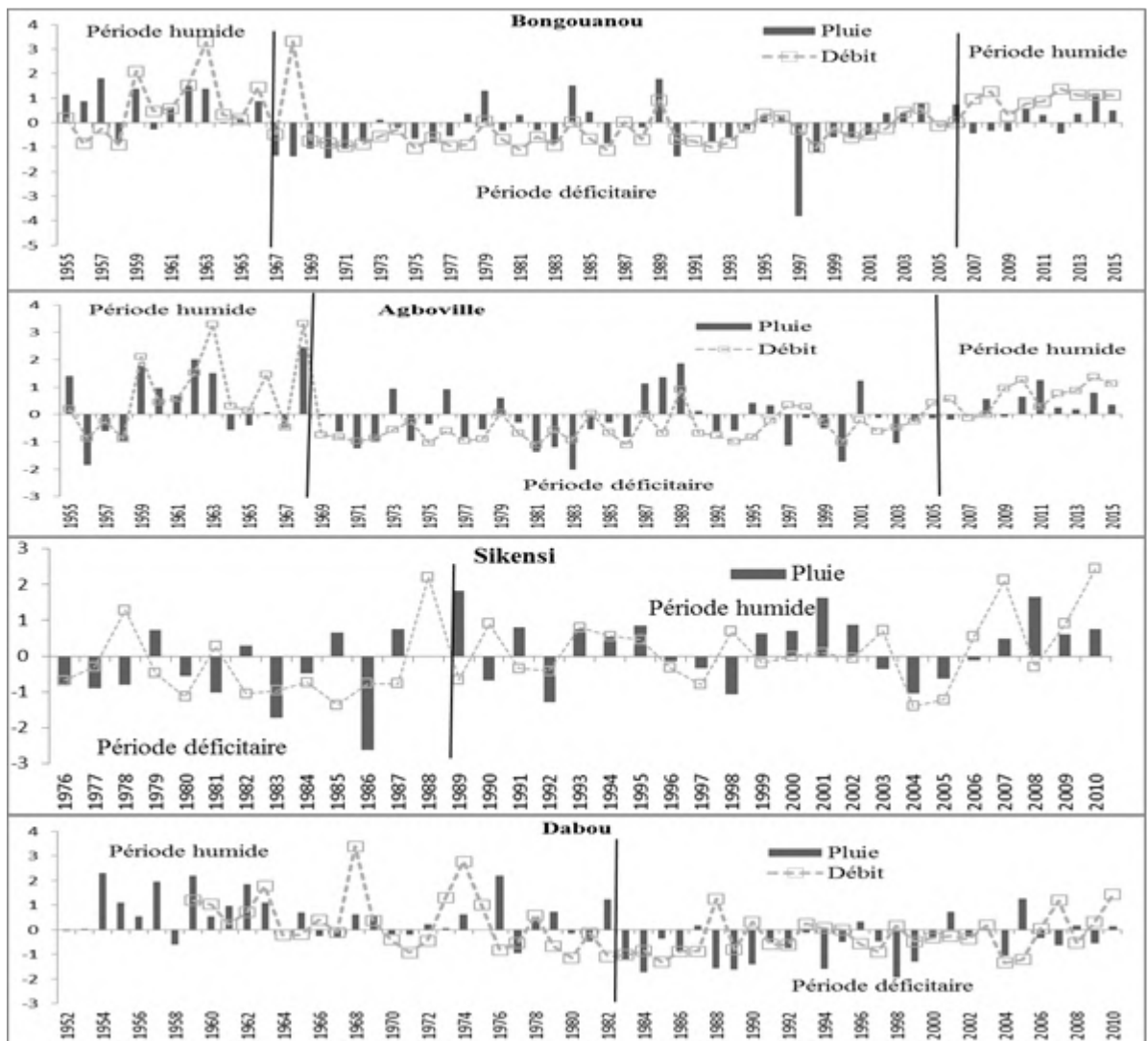


Figure 2. Indices pluviométriques et hydrométriques de 1955-2015

3.1.1.2. Tests de ruptures pluviométriques et hydrométriques

Pour la détermination du nombre de ruptures pluviométriques à retenir, l'application des tests de Pettitt et de Hubert (tableau) ont permis de détecter quatre différentes dates de ruptures. Les deux premières ruptures sont observée en 1966 et 1968 respectivement à Bongouanou et Agboville. Les

séries de Sikensi et Dabou situées au Sud du bassin sont celles à connaître les deux dernières ruptures respectivement en 1986 et 1982.

La procédure de segmentation de Hubert sur les mêmes séries fait apparaître des ruptures de stationnarités en 1965, 1996, 1968, 1986 et 1982 respectivement à Bongouanou, Agboville, Sikensi et Dabou.

Tableau 4. Rupture détectées par tests de Pettitt

Stations pluviométriques				
	Années ou de période Rupture	Moyenne avant Rupture (mm)	Moyenne après Rupture (mm)	Déficits (%)
Bongouanou	1966	1255	1076	-14
Agboville	1968	1427	1312	-8
Sikensi	1986	1110	1396	+26
Dabou	1982	1961	1474	-24
Stations hydrométriques				
Agboville	1968	50	23	-54
Kavi-M'bessé	1976	22	14	-36

Tableau 5. Ruptures par la procédure de segmentation Hubert

Stations pluviométriques				
	Années ou de période Rupture	Moyenne avant Rupture (mm)	Moyenne après Rupture (mm)	Déficits (%)
Bongouanou	1965	1311,87	1058,4	-19
	1996	1058,84	1140,27	+7
Agboville	1968	1427	1312	-8
Sikensi	1986	1110	1396	+26
Dabou	1983	1937	1484	-24
Stations hydrométriques				
Agboville	1967	54,2	15,55	-71
	2001	15,55	43,304	+178
Kavi-M'bessé	1975	22,94	11,03	-52
	2004	11,03	24,12	+119

3.1.1.3. Déficit (ou excès) pluviométrique et hydrométrique

Avant 1965, la pluie moyenne annuelle qui était de 1311,87 mm est passée à 1058,4 mm entre 1966 et 1996 à la station de Bongouanou. Ceci correspond à un déficit de -19% . Après 1996 et 1986, les tendances ont basculés vers des excès respectifs de +7% (Bongouanou) et +26% (Sikensi) jusqu'en 2015 soit une variance de l'ordre de 17%.

Les dates de ruptures hydrométriques ont été observées en 1968 et 1976 par le test de Pettitt qui ont engendré des déficits respectifs de 54% et 36% soit une variation moyenne de l'ordre 40%. La segmentation de Hubert retient plutôt quatre dates de rupture avec une variation moyenne de déficit de l'ordre de 61,5% et un excès de l'ordre de 149%. On en déduit que pour un excès

pluviométrique de +17%, on obtient un gain de 149% dans les écoulements soit plus de 8 fois l'excédent pluviométrique (Tableau 5). Ceci traduit la non-linéarité entre pluie et débit dans le bassin versant de l'Agnéby comme c'est le cas en zone Soudanienne.

3.1.1.4. Variabilité de la récurrence des pluies autour des ruptures

L'application de la méthode d'estimation des périodes de retour autour de la rupture nous a permis la mise en évidence des différentes dates de récurrence des pluies en suivant la loi de Gumbel (Figure 3). Avant la rupture de 1965, les pluies annuelles inférieures à 1490 mm ont affiché une récurrence d'au moins 1 fois tous les cinq ans (Figure 3a). Au delà de cette valeur, précisément à 1650 mm, les cumuls annuels présentent des périodes de retour moyen (20 ans) à très longue (100 ans). Pendant la période déficitaire (1966 à 1996), les hauteurs pluviométriques ont significativement diminué de cumul annuel (Figure 3b). Par exemple, pour une période de retour de 20 ans avant 1965 la pluviométrie de 1650 mm est devenue quinquennale pendant la phase déficitaire. Après la rupture de 1996, les pluies annuelles ont basculés à un retour de la période humide sur le bassin avec des cumuls pluviométriques variant entre 1280 mm et 1760 mm.

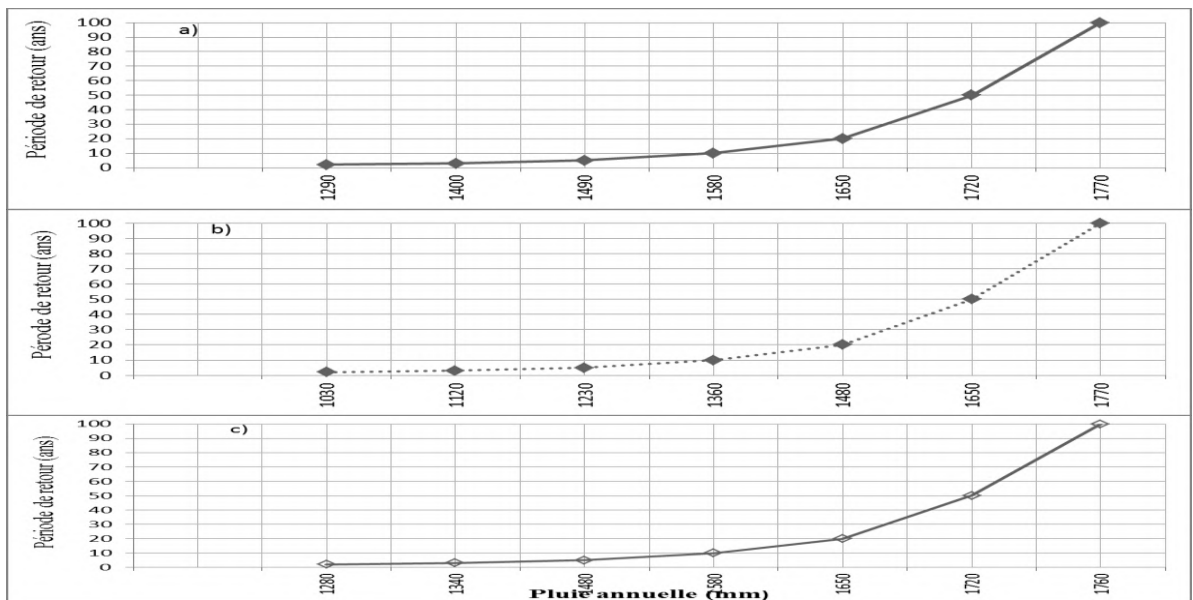


Figure 3. Variabilité de la récurrence des pluies autour de la rupture : (a) période de 1947-1965, (b) période 1966-1996, (c) période 1997-2015

3.1.1.5. Ampleur de la sécheresse

3.1.1.5.1. Gammes de valeurs SPI et Signification

L'application des indices exprimés par les données pluviométriques pour la période 1955-2015, au niveau des stations de Bongouanou et de Agboville, 40% et 45% des années d'observation ont subi des sécheresses modérées et seulement 10% et 14% correspondent à des régimes de sécheresses fortes (Tableau 6). Quant aux deux autres stations, celle de Sikensi présente des sécheresses modérées de 36% et Dabou 40% avec des régimes de sécheresses fortes respectives de 9% et 11%.

Sur la même période, 33%, 25%, 42% et 27% respectivement à Bongouanou, Agboville, Sikensi et Dabou se déroulent sous un régime à humidité modérée et les 2% (Bongouanou, 3% (Agboville) et 6% (Dabou) restants correspondent à une humidité variant de forte à extrême (Tableau 6).

Les débits analysés à la station d'Agbo à partir des SPI sont caractéristiques d'une sécheresse (55%) allant de modérée (47%) à fort (8%). Les 45% des années restantes ont subi une humidité modérée (31%), forte (9%) et extrême (5%).

Tableau 6. Ampleur de la Sécheresse (et de l'humidité) entre 1955-2015

Variables	Stations	Gamme SPI	Interprétation	% d'années
Pluviométrie (1955-2015)	Bongouanou	SPI>2	Humidité extrême	2
		1<SPI<2	Humidité forte	15
		0<SPI<1	Humidité modérée	33
		-1<SPI<0	Sécheresse modérée	40*
		-2<SPI<-1	Sécheresse forte	10
	Agboville	SPI>2	Humidité extrême	3
		1<SPI<2	Humidité forte	13
		0<SPI<1	Humidité modérée	25
		-1<SPI<0	Sécheresse modérée	45*
		-2<SPI<-1	Sécheresse forte	14
	Sikensi	SPI>2	Humidité extrême	0
		1<SPI<2	Humidité forte	9
		0<SPI<1	Humidité modérée	42
		-1<SPI<0	Sécheresse modérée	36*
		-2<SPI<-1	Sécheresse forte	13
	Dabou	SPI>2	Humidité extrême	6
		1<SPI<2	Humidité forte	11
		0<SPI<1	Humidité modérée	27
		-1<SPI<0	Sécheresse modérée	40*
		-2<SPI<-1	Sécheresse forte	16
Hydrométrie (1955-2015)	Agbo	SPI>2	Humidité extrême	5
		1<SPI<2	Humidité forte	9
		0<SPI<1	Humidité modérée	31
		-1<SPI<0	Sécheresse modérée	47*
		-2<SPI<-1	Sécheresse forte	8
	Kavi-M'bessé	SPI>2	Humidité extrême	4
		1<SPI<2	Humidité forte	16
		0<SPI<1	Humidité modérée	32
		-1<SPI<0	Sécheresse modérée	40*
		-2<SPI<-1	Sécheresse forte	8

*le phénomène climatique dominant

3.1.1.6. Coefficient d'écoulement

Les variations de ces coefficients en fonction des années montrent qu'au cours de l'épisode compris entre 1959 et 1967, les stations d'Agbo et Kavi-M'bessé les coefficients sont majoritairement excédentaire avec des pics respectifs en 1963 (5,5) et 1967 (2,5) (Figure 4). Après ces périodes on constate une chute importante des coefficients entre 1969 2009. Pendant la décennie 2010, on observe une tendance à la hausse. Ceci est caractéristique de l'entrée de la période humide sur le bassin. Quant à la station d'Offoliguié

on observe une période d'alternance sur les coefficients entre la période 1983 à 2007 et une période humide entre 2008-2015.

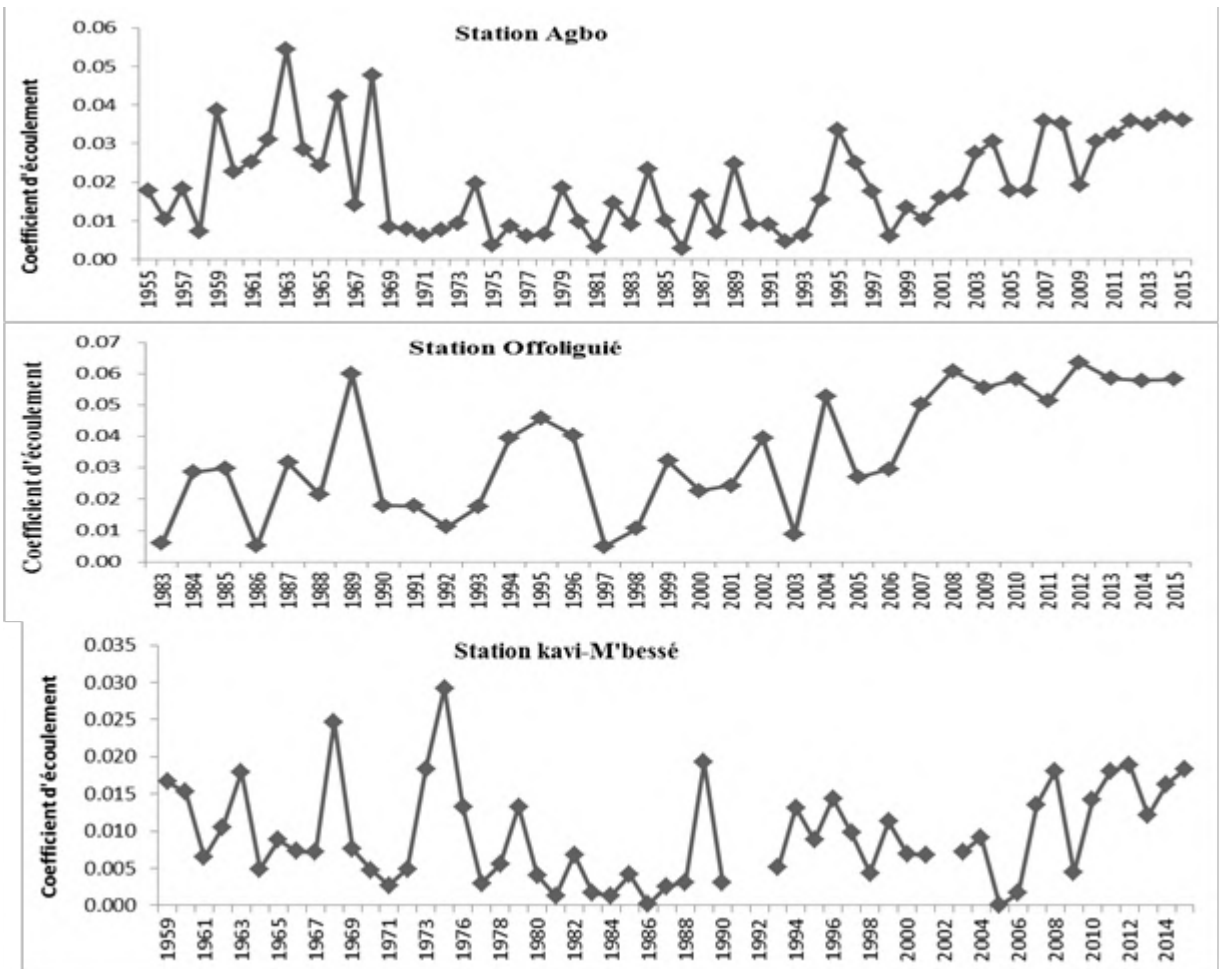
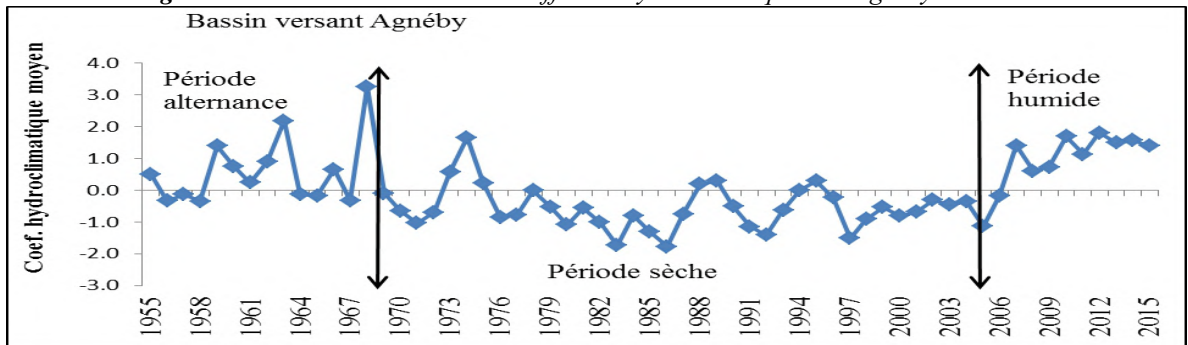


Figure 4. Coefficient d'écoulement standard bassin de l'Agnèby 1955-2015

3.1.1.6.1. Coefficient hydrologique moyen (chm)

L'analyse du graphe à l'échelle pluriannuelle montre trois (3) grandes tendances généralisées sur l'ensemble du bassin. Ces tendances peuvent être étudiées à partir des variations annuelles du coefficient hydroclimatique moyen (chm) (Figure 5).

Figure 5. Variations annuelles du coefficient hydroclimatique de l'Agnéby 1955-2015

Les variations du coefficient hydroclimatique révèle qu'au cours de la période compris entre 1955 et 1969, le bassin a connu une alternance d'années humides et sèches. Pendant cette même période, le coefficient hydroclimatique moyen enregistre une moyenne interannuelle de 60%. Les années humides 1960, 1962, 1963 et 1966 ont connus des excédents respectifs de 33%, 60%, 293%, 33% par rapport à la moyenne de la période 1969-2005. Quant aux années sèches 1956, 1957, 1958, 1964, 1965 et 1967 on observe des déficits respectifs de 60%, 23%, 60%, 22%, 32% et 60% par rapport à cette période. La période sèche s'installe de 1970-2006 avec un déficit de variation moyenne de -0.6. La période 2007-2015 reste humide avec 9 années successives humides soient des excédents de 8 %, 31 %, 38 %, 15 %, 23 % et 8 % respectivement en 2007, 2008, 2012, 2013, 2014 et 2015 par rapport à la moyenne du coefficient hydroclimatique de la série hydrologique.

3.1.1.7. Effet des précipitations sur l'écoulement

3.1.1.7.1. Effet de la pluie journalière sur le débit

L'analyse des résultats de la Figure 6 montre qu'en 2009 l'année hydrologique commence pendant le mois d'octobre et prend fin en novembre. Par contre dans les trois stations en 2012, elle débute dans le mois de juin et s'arrête en août. Ces périodes d'écoulements sur le bassin versant coïncident avec les fortes journées pluvieuses (c'est-à-dire lorsque l'intensité de la pluie est élevée le débit aussi est élevé vice versa). Il faut noter que l'examen minutieux de cette figure présente des légers déphasages entre le début de la saison des pluies et celui des écoulements et les fortes averses et les pics de débits. Les premières pluies qui ne produisent pas d'écoulement, ont pour rôle d'humidifier le bassin à un niveau suffisant avant de produire un débit. Il ressort de cette relation que les pluies journalières sont le moteur principal des écoulements sur le bassin.

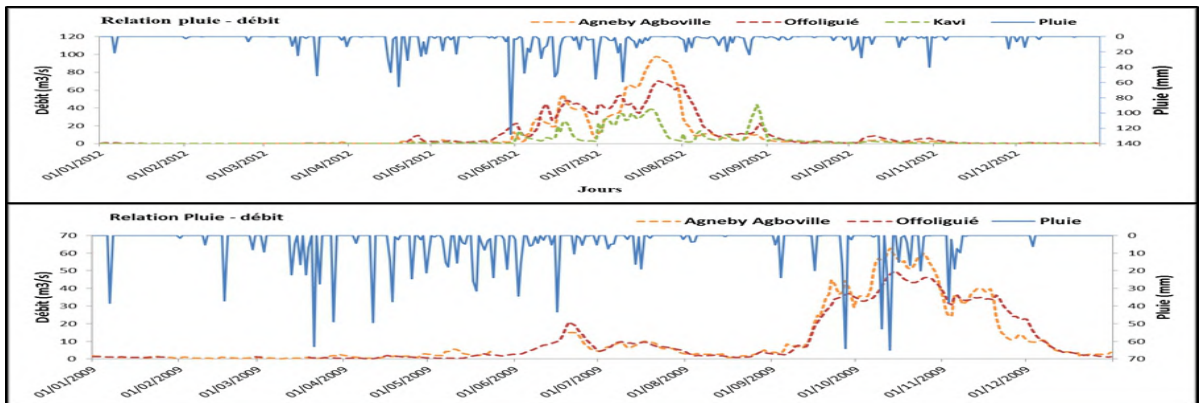


Figure 6. Relation pluie-débit sur le bassin versant de l'Agnéby (2012-2009)

3.2. Discussion

L'analyse de l'évolution temporelle des indices hydropluviométriques met en évidence, sur l'ensemble du bassin de l'Agnéby, une période excédentaire entre 1955-1969, suivit d'une baisse de pluviométrie sur la période 1970-2006 avec la persistance de la sécheresse et un retour à la normale pendant la décennie 2010. Notons par ailleurs que dans la région de Sikensi, les évolutions des valeurs des indices indiquent globalement une succession des années humides non influencées par la baisse pluviométrique alors que, à la station de Dabou on assiste à une succession des années déficitaires. Les stations de Bongouanou et Agboville sont celles qui ont connu une baisse importante interannuelle dans leurs hauteurs pluviométriques avec une variance de l'ordre de 67% d'années déficitaires. Ces résultats concordent avec ceux des études menées par (Soro *et al.*, 2013) Nord-ouest de la Côte d'Ivoire qui a montré que les décennies 1970,1980 et 1990 ont été détectées comme des périodes sèches.

L'analyse de la stationnarité des séries hydrologiques, par l'application des tests statistiques, nous a permis de confirmer et de valider les changements des moyennes faites de l'analyse des indices hydropluviométriques.

Au total quatre dates de ruptures sont observées par l'application du test de Pettitt. La rupture climatique de l'année 1970 est bien mise en évidence, comme on a pu le constater avec l'analyse des indices. Les deux premières ruptures sont observées dans les stations de Bongouanou en 1966 et Agboville en 1968 avec des déficits respectifs de -14% et -8%. Ces baisses pluviométriques se sont répercutées sur la réponse hydrologique avec des déficits de -54% à Agboville et -36% à Kavi M'bessé. Les ruptures des stations de Sikensi et de Dabou ont enregistré en 1986 et 1982 avec un écart moyen respectif de +26% et un déficit de -24%. Ces déficits sont en général inférieurs aux déficits de -21% de la pluviométrie annuelle observée en Côte d'Ivoire. Ces résultats sont certifiés par plusieurs études antérieures menées dans la

même zone d'étude et utilisant partiellement ou intégralement les mêmes méthodes statistiques (Kouadio, 2011; Ahoussi *et al.*, 2013).

La procédure de segmentation des séries confirme d'une part, les résultats obtenus de l'analyse des indices hydropluviométriques et des tests statistiques. D'autre part, elle complète ces résultats en ce qu'elle permet la détermination de l'ampleur des changements observés. Au total elle fait apparaître cinq dates de ruptures dans les différentes stations étudiées. Les ruptures des stations de Bongouanou et Agboville sont apparues en premier lieu en 1965 et 1968 avec des déficits respectifs de -19% et -8% qui correspondent aux déficits observés dans les écoulements de -71% à Agboville et -52% à la station de Kavi M'bessé. En deuxième lieu, les trois dernières ruptures observées sont celle de Sikensi (1986), Dabou (1983), et Bongouanou (1996). Ces ruptures ont engendrés des écarts moyens de +26% à Sikensi et +7% à Bongouanou et un déficit de -24% à Dabou. D'une façon générale, on constate un retour des années humides à la station hydrométrique d'Agboville avec une réponse hydrologique de variance de 149% soit plus de six fois le déficit pluviométrique observé à la station de Dabou. Ces résultats rentrent dans le même ordre que le constat global fait par plusieurs auteurs et s'insèrent dans la majorité des ruptures observées en Côte d'Ivoire (Yao *et al.*, 2012; Kamagaté *et al.*, 2014) au Sud-ouest et au Sud-est de la Côte d'Ivoire, et en particulier sur le bassin versant transfrontalier de Kolondieba au Sud du Mali effectué par (Dao *et al.*, 2010) qui observe la récurrence des pluies excédents autour des ruptures dépassant plus de 100%.

Les variations du coefficient hydroclimatique révèlent qu'au cours de la sous période comprise entre 1955 et 1969, le bassin a connu une alternance d'années humides et sèches. Pendant cette même période, le coefficient hydroclimatique moyen enregistre une moyenne interannuelle de 60%. La période sèche s'installe de 1970-2006 avec un déficit de moyenne interannuelle de -50%. Après cette période sèche on observe à un retour de l'augmentation des coefficients hydroclimatiques sur la période 2007-2015 avec un excédent de 130% dans la zone d'étude soit plus de deux fois la période 1955-1969. Cette nouvelle tendance des écoulements témoigne d'une reprise de l'augmentation pluviométrique qui semble rompre la longue sécheresse observée en Afrique de l'Ouest depuis 1970. Ces présents résultats sont en accord avec ceux effectués par (Dao *et al.*, 2010; Fadika, 2012; Kamagaté *et al.*, 2017; Moahamed et al., 2014) au Sud du Mali, en Afrique de l'Ouest, au Sud-ouest de la Côte, Sud-est de la Côte d'Ivoire et sur le fleuve Sénégal.

Conclusion

Cet article apparait comme une contribution à la compréhension du phénomène de l'effet de la variabilité pluviométrique sur les écoulements de surface. De 1955 à 2015, la variabilité hydropluviométriques s'est matérialisée sur le bassin par deux périodes humides et une période sèche au regard de l'évolution des indices hydropluviométriques. Cette variabilité s'est caractérisée par des dates de ruptures pluviométriques majeures intervenues en 1966, 1968 et 1982 engendrant des pertes variant entre -8% à -24% et une raréfaction des pluies annuelles de plus en plus fortes. La rupture de 1996 a généré un excès pluviométrique de +7% et une augmentation de fortes pluies, traduisant un retour à la tendance excédentaire. La réponse hydrologique à cet excédent pluviométrique s'élève de 178% à 119% soit une variance de 149%. Dans cette même optique l'analyse du coefficient hydroclimatique a mis en évidence une période humide (1955-1969) avec un écart moyen de 60%. Le déficit correspondant à la période de (1970-206) s'évalue à 50%. En outre, dans un contexte d'avis controversés sur la récente évolution du climat en Côte d'Ivoire de la décennie 2010, les résultats de cette étude confirme, à l'échelle du bassin l'entrée d'une nouvelle ère climatique plus humide que celle des décennies 1970 et 1990 avec un excédent de coefficient hydroclimatique moyen de 130%. Cette étude met en relief la non linéarité de relation pluie et débit en milieu tropical.

Reconnaisances

Au terme de cette étude, nous tenons à remercier la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) et de la Direction Générale des Infrastructures de l'Hydrauliques Humaine (DGIHH) pour avoir mise en notre disposition les données journalières des pluies et des débits sur la zone d'étude.

References:

1. Addinsoft (2016). XLSTAT 2016: Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel. Paris, France.
2. Aguiar, L. A. A. (2009). Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des niayes du Sénégal entre 1950 et 2004. Thèse ; Université du Québec à Montréal, Québec, 185p.
3. Ahoussi, K., Koffi, Y.B., Kouassi, A. M., Soro, G., Soro, N., & Biemi, J. (2013). Étude de la variabilité hydroclimatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan-Agboville, Int. J. Pure App. Biosci. 1 (6): 30-50.
4. Dagnelie, P. (1970). Théorie et méthodes statistiques. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Vol 2, 463 p.

5. Dao, A. (2013). Caractérisation des composantes du cycle de l'eau et processus de production de l'écoulement : cas du bassin versant transfrontalier de Kolondieba au sud du Malien milieu tropicale de socle. Thèse de Doctorat, Univ. Nangui Abrogoua, 225 p.
6. Dao, A., Kamagaté, B., Mariko, A., Goula, B. T. A., Séguis, L., Maiga, H. B., & Savané, I. (2010). Impact de la variabilité climatique et réponse hydrologique du bassin versant transfrontalier de Kolondieba au Sud du Mali. *European Journal of Scientific Research*, (43) 4. 434-444.
7. Fadika, B. (2012). Variabilité et modélisation de Quelques bassins versants côtiers du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat de l'Université Abobo-Adjamé, 164 p.
8. Girard, G. (1963). Etude du bassin versant de la rivière Agneby.
9. Goula, B.T., Brou, K., Brou, T., Savané, I., Vamoryba, F., & Bernard, S. (2007). Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale: cas de la Côte d'Ivoire par comparaison des lois lognormale et de Gumbel. *Hydrol. Sci. J.* 52, 49-67.
10. Hubert, P., Carbonnel, J.P., & Chaouche, A. (1989). Segmentation des series hydrométéorologiques: Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.*, 110: 349-367.
11. Kamagaté, B., Seguis, L., Kouadio, Z.A., Peugeot, C., Savané, I., & Goula, B. T. A. (2014). Bilan hydrologique du bassin versant de l'Agneby (Côte d'Ivoire): application du modèle hydrologique nTopAmma Laboratoire de GéoSciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 01, Côte d'Ivoire, kambamory2@yahoo.fr2. HydroSciences Montpellier, Université de Montpellier 2, 34095 Montpellier cedex 5, France.
12. Kamagaté, B., Dao, A., Noufe, D., Yao, K.L., Fadika, V., Gone, D.L., & Savane, I. (2017). Contribution du modèle GR4J à la modélisation hydrologique du bassin versant de l'agneby au sud-est de la cote d'ivoire, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°29, Mars 2017, pp. 187-208.
13. Kouadio, Z. A. (2011). Dynamique de l'occupation du sol et comportement hydrologique: cas des bassins versants côtiers de l'Agneby et du Boubo (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Abobo-Adjamé , 188p.
14. Kouakou, K. E., Goula, B. T. A., & Savane, I. (2007). Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide: cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte D'Ivoire - Burkina Faso). *Euro. J. Sci. Resear.*16, pp: 31 43.

15. Lebel, T. & Ali, A. (2009). Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). *Journal of Hydrology* 375 (1–2), 52–64.
16. Lebel, T. & Vischel, T. (2005). Climat et cycle de l'eau en zone tropicale: un problème d'échelle. *C. R. Geosci.* 337, 29-38.
17. Mohamed, T. C., Soussou, S., Yaya, D., Clément, D., & Mamadou, B. (2014). Analyse des écoulements dans le bassin du fleuve Sénégal de 1960 à 2014. *Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science* Volume 27, numéro 2, 2014.
18. Pettitt, A.N. (1979). A non parametric approach to the change point problem. *Applied Statistics*, 28(2): 126-135.
19. Soro, G.E., Anouman, D.G.L., Goula, B.T.A., Srohorou, B., & Savane, I. (2013). Caractérisation des séquences de sécheresse Météorologique à diverses échelles de temps en Climat de type soudanais : cas de l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014, pp. 107-124.
20. Wu, H., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., & Svoboda, M. D. (2005). The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation, *International J. Climat.* 25, 505–520.
21. Yao, A. B., Goula, B. T. A., Kouadio, Z A., Kouakou, K E., Kane, A., & Sambou, S. (2012). Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant de la lobo au centre-ouest de la COTE D'IVOIRE *Rev.Ivoir. Sci. Technol.*, 19 (2012) pp: 136 – 157.